

# 溶接接合の基礎

湯田誠

川田工業株式会社

# 溶接接合の基礎

## 橋梁溶接概論

川田工業株式会社  
湯田 誠

1

## 溶接とは(溶接の定義)

- 材料に応じて接合部が連続性を持つように熱または圧力もしくはその両者を加え、さらに必要な方法があれば適当な溶加材を加えて部材を接合する方法



(鍛接の風景)

※「溶接のお話」 日本規格協会編

2

## 溶接の歴史

- 金属同士をハンマーでたたいて接合することが始まったのは紀元前3000年頃
- 1800年ころイギリスのデイビーがアークを発見
- 1880年ごろフランスのドメリスタン、ドベナールが**実用的アーク溶接法を開発**

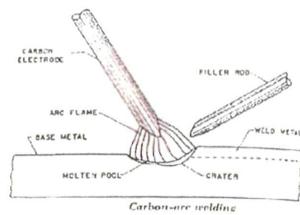


図1 Principle of carbon arc welding

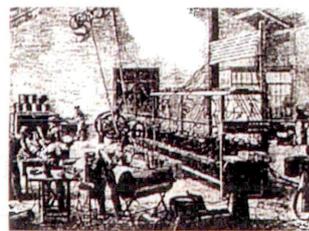


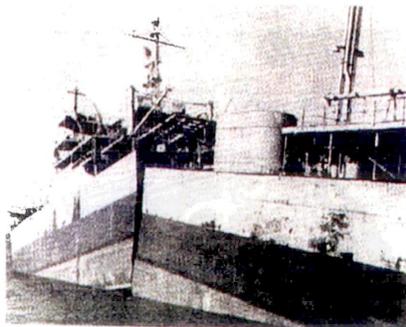
図2 Wood cut showing electric welding shop

※「溶接の自動化の歴史」より 溶接技術 2005年7月号

3

## 溶接の歴史

- 第2次世界大戦にかけて各種溶接法が開発されるが、我が国への本格導入は戦後(1947年頃)より



全溶接船(米国)による脆性破壊/1943-1946年

※「溶接技術の基礎」より 溶接学会編

4

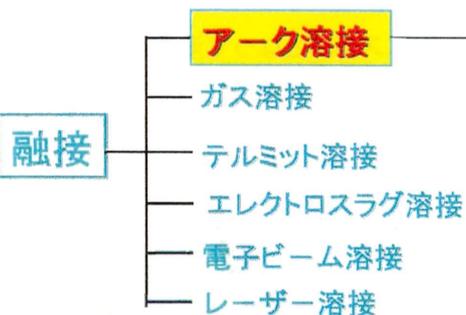
## 溶接の分類

- 溶接はその接合の機構によって
  - ・融接(特に鋼構造物の溶接に用いられる)
  - ・圧接
  - ・ろう接の3つに分類される

5

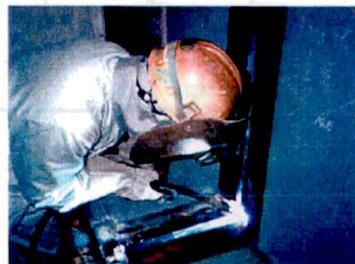
## 溶接方法の種類

### ■ 融接法の分類



#### アーク溶接とは？

電気エネルギーを利用し母材と電極間にアークを発生し、その熱で接合部を溶融一体化し凝固することで接合する方法



溶接風景(CO2半自動溶接)

6

## 溶接方法の種類

### ■ 融接法の分類



■ アークを熱源とする融接、すなわち **アーク溶接** が最も広く用いられ特に **鋼橋** では各種の溶接法が採用されている

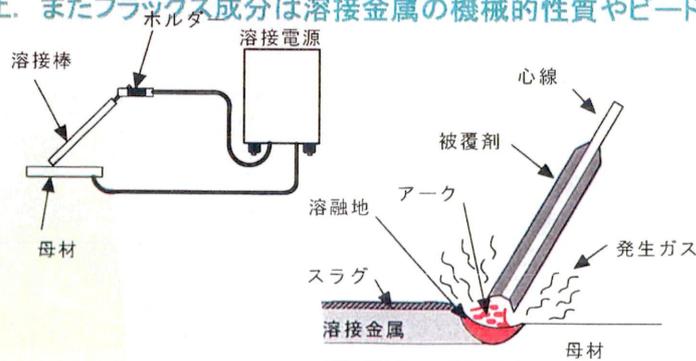
7

## 溶接施工法の種類 ～一般的な溶接法～

### ① 被覆アーク溶接

心線にフラックスを塗った溶接棒を電極とし、母材と電極間にアークを発生。

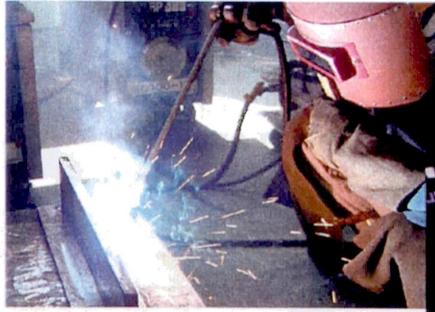
溶接中、高熱で分解されたフラックスはガス、スラグとなって溶融金属の酸化を防止。またフラックス成分は溶接金属の機械的性質やビード形成に影響。



8

## 溶接施工法の種類 ～一般的な溶接法～

### ①被覆アーク溶接



テストピース溶接



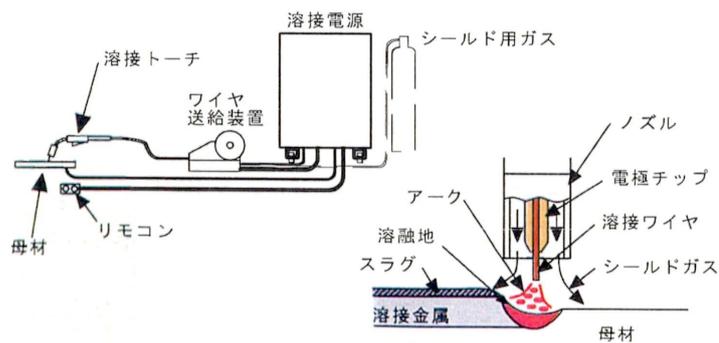
タイヤ部/隅肉溶接

9

## 溶接施工法の種類 ～一般的な溶接法～

### ②ガスシールドアーク溶接

溶接トーチに自動送給されたコイル状の溶接ワイヤと母材との間にアークを発生。溶接中、 $\text{CO}_2$ や $\text{Ar-CO}_2$ などのシールドガスにより溶融金属の酸化を防止。なお溶接ワイヤとしては、ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤが多く用いられている。



10

## 溶接施工法の種類 ～一般的な溶接法～

### ②ガスシールドアーク溶接



添加物のすみ肉溶接

スティフナのすみ肉溶接



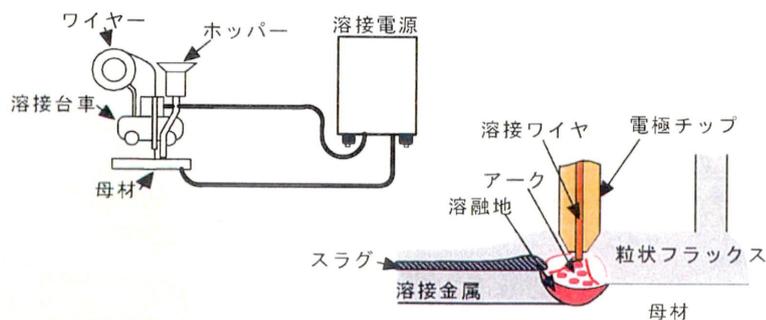
11

## 溶接施工法の種類 ～一般的な溶接法～

### ③サブマージアーク溶接

自動供給されたコイル状の溶接ワイヤと母材との間にアークを発生。

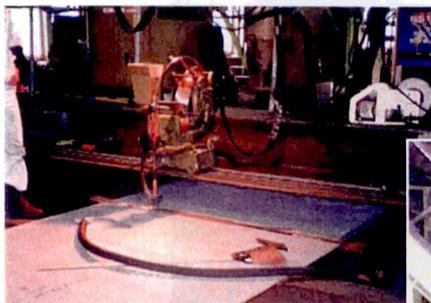
溶接中,粒状のフラックスが溶融スラグとなり溶融金属の酸化を防止。  
またフラックス成分は溶接金属の機械的性質やビード形成に影響。



12

## 溶接施工法の種類 ～一般的な溶接法～

### ③サブマージアーク溶接



板継ぎ溶接



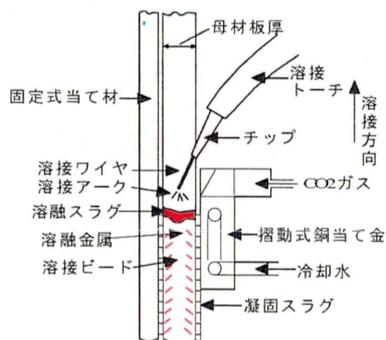
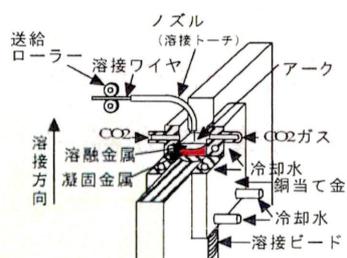
I桁の首溶接

13

## 溶接施工法の種類 ～一般的な溶接法～

### ④エレクトロガス溶接

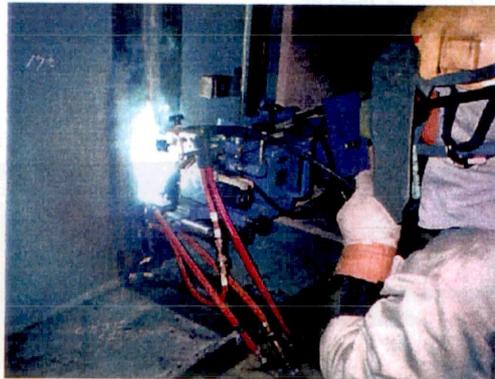
母材と裏当て材(水冷銅板)に囲まれた部分にコイル状の溶接ワイヤを自動送給し、ワイヤと溶接金属部(スタートは母材)との間にアークを発生。溶接中、 $CO_2$ のシールドガスにより溶融金属の酸化を防止。主に現場溶接の立向き溶接として実績あり



14

## 溶接施工法の種類 ～一般的な溶接法～

### ④エレクトロガス溶接



ウェブ板継ぎ溶接

15

## 工場における溶接法の分類

- ・被覆アーク溶接法 ; 1%以下
- ・サブマージアーク溶接法 ; 30~40%
- ・ガスシールドアーク溶接法 ; 60~70%

※比率は使用量から換算(我が社の例)

※鋼橋では隅肉溶接がおおく、ガスシールドアーク溶接(半自動溶接、自動溶接)の適用率が高い

16

## 土木構造物(橋梁)と溶接のかかわり

### ■溶接技術の導入と橋梁

溶接がもたらしたもの

- ①リベット橋に比べ軽量化 → 長スパン化を可能とした
- ②複雑な構造に対応可能
- ③箱桁断面など新形式の橋を実現できた
- ④効率の良い橋梁製作が可能



リベット橋の例(桜宮橋; 1930年)



全溶接橋例(田端大橋; 1935年) 17

## 土木構造物(橋梁)と溶接のかかわり

溶接の特徴(利点と欠点)

### ■ 利点

- ①継手構造の簡素化
- ②材料及び工数の節減
- ③継手効率が高い
- ④優れた気密性・水密性

### ■ 欠点

- ①ひずみの発生
- ②残留応力による疲労強度の低下
- ③溶接熱による材質劣化
- ④ぜい性破壊の可能性

知っておくことが重要!

・溶接に対する組み合わせ条件の最適化  
・特性を考慮した設計、施工の選択

18

## 土木構造物(橋梁)と溶接のかかわり

### ■溶接継ぎ手にはなにが求められているか

#### 【要求要件】

- ・品質確保(溶接欠陥や歪み)
- ・応力伝達能力(強度)
- ・疲労耐久性(応力集中)
- ・耐防錆、防食性
- ・安全性

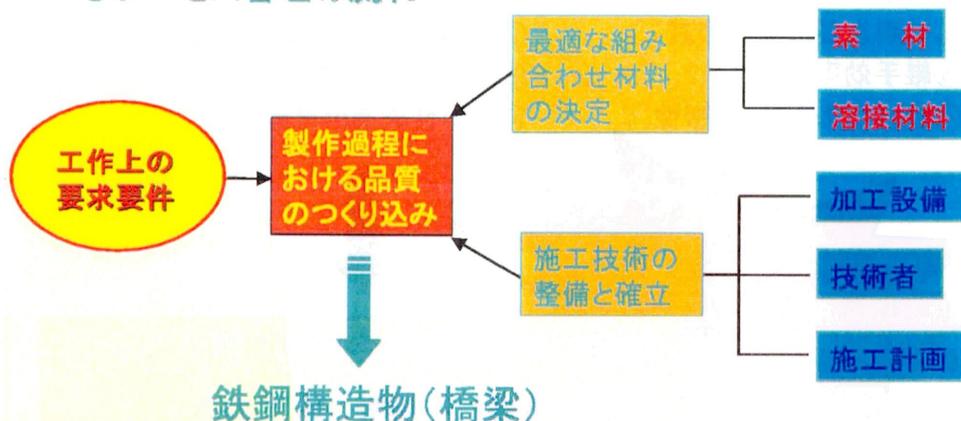
工作上的要求要件

19

## 土木構造物(橋梁)と溶接のかかわり

### ■溶接継ぎ手にはなにが求められているか

#### ●プロセス管理の流れ



20

## 鋼橋の溶接施工

- 橋梁に関する設計から施工まで  
道路橋示方書を基準としたものづくり



- 溶接施工は、各継手に要求される溶接品質を確保するため、次に示すような事項について十分検討を加えた後、適切に施工しなければならない。

21

## 鋼橋の溶接施工

- 1) 鋼材の種類と特性
- 2) 溶接材料の種類と特性
- 3) 溶接作業者の保有資格
- 4) 継手の形状と精度
- 5) 溶接環境や使用設備
- 6) 溶接施工条件や留意事項
- 7) 溶接部の検査方法
- 8) 不適合品の取り扱い

22

## 鋼橋における鋼材の種類

- 鋼種は,部材の応力状態,製作方法,架橋位置の環境条件,防せい防食法等に応じて適切に選定。
  - 鋼材の強度,伸び,靱性等の機械的性質
  - 化学組成
  - 有害成分(硫黄)の制限
  - 厚さやそり等の形状寸法の特性や品質

23

## 鋼橋における鋼材の種類

### 代表的な鋼種

- 一般構造用圧延鋼材(JIS G 3101)  
SS400,SS490があり**厚板では溶接性が低下**
- 溶接構造用圧延鋼材(JIS G 3106)  
SM400,SM490,SM490Y,SM520,SM570  
があり**鋼橋の主要部を構成**
- 溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材(JIS G 3114)  
SMA400,SMA490,SMA570があり**錆に対する安定度が高い**  
**近年使用実績が多い**
- 高強度材料  
HT780,HT690があり  
**厳しい溶接管理が要求される**



24

## 鋼橋における溶接材料の種類

- 使用する溶接材料は、適用される鋼種に合わせ、継手に要求される成分や機械的性質を満足するものでなければならない。



(被覆アーク溶接材料)



(サブマージ、CO2アーク溶接材料)

25

## 鋼橋における溶接材料の種類

### 1) 溶接材料区分

※強度レベル  
※じん性レベル  
※鋼材種別  
により組み合わせを選択

	使用区分
強度の同じ鋼材を溶接する場合	母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
強度の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
じん性の同じ鋼材を溶接する場合	母材の要求値と同等もしくはそれ以上のじん性を有する溶接材料
じん性の異なる鋼材を溶接する場合	低じん性側の母材の規格値と同等もしくはそれ以上のじん性を有する溶接材料
耐候性鋼と普通鋼を溶接する場合	母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質、じん性を満足する溶接材料
耐候性鋼と耐候性鋼を溶接する場合	母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質、じん性および耐候性能を満足する溶接材料

- 2) 耐候性鋼や SM490以上の鋼材を溶接する場合は、**低水素系溶接材料**を使用
- 3) 溶接材料は適切に保管し、吸湿しやすい被覆アーク溶接棒及びサブマージアーク溶接用フラックスなどは所定の条件に乾燥したものを使用

26

## 鋼橋における溶接施工

- 溶接の施工は,所定の溶接品質を確保できる方法で行わなければならない.
  - 1) 溶接作業者の資格
  - 2) 溶接施工試験
  - 3) 組立溶接
  - 4) 予熱
  - 5) 入熱制限
  - 6) 溶接施工上の注意

27

## 鋼橋における溶接施工

- 1) 溶接作業者の資格
  - a) 組立溶接・本溶接に従事する溶接作業者は,作業に該当する試験に合格したものが従事する  
JIS Z 3801「手溶接技術検定における試験方法及び判定基準」  
JIS Z 3841「半自動技術検定における試験方法及び判定基準」
  - b) 工場溶接に従事する作業者は,6ヶ月以上溶接工事に従事し,かつ工事前2ヶ月以上引き続き溶接に従事
  - c) 現場溶接に従事する作業者は,6ヶ月以上溶接工事に従事し,かつ適用する溶接施工法の経験がある者又は十分な訓練を受けた者

28

## 鋼橋における溶接施工

### ■ 2) 溶接施工試験

溶接施工試験は下記事項のいずれかに該当する場合に行う。  
なお過去に同等もしくはそれ以上の条件で溶接施工試験を行い、かつ施工経験をもつ場合には省略できる。



テストピース全景



施工試験風景

29

## 鋼橋における溶接施工

### ■ 2) 溶接施工試験

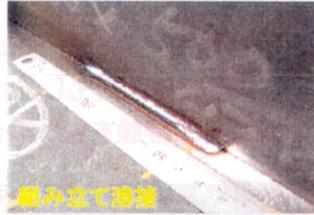
- a) SM570, SMA570W, SM520及びSMA490Wにおいて、入熱量が7kJ/mmをこえる場合
- b) SM490, SM490Yにおいて、入熱量が10kJ/mmをこえる場合
- c) 被覆アーク溶接, ガスシールドアーク溶接, サブマージアーク溶接法以外の溶接を行う場合
- d) 鋼橋製作の実績のない場合
- e) 使用実績のないところから材料供給を受ける場合
- f) 使用する溶接方法の施工実績がない場合

30

## 鋼橋における溶接施工

### 3) 組立溶接

- i) 組立溶接は、本溶接の場合と同様に管理して施工しなければならない
- ii) 組立溶接のすみ肉は脚長4mm以上、長さは80mm以上とする。ただし、厚い方の板厚が12mm以下の場合又は次式により計算した鋼材の溶接割れ感受性組成 $P_{cm}$ が0.22%以下の場合には50mm以上とすることができる。



$$P_{cm} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + \frac{Cu}{20} + 5B \quad (\%)$$

- iii) 組立溶接は、スラグを除去するものとし、溶接部に表面われがないことを確認しなければならない。

31

## 鋼橋における溶接施工

### 4) 予熱

鋼種、板厚及び溶接方法に応じて、溶接線の両側100mm及びアークの前方100mm範囲の母材を予熱する。

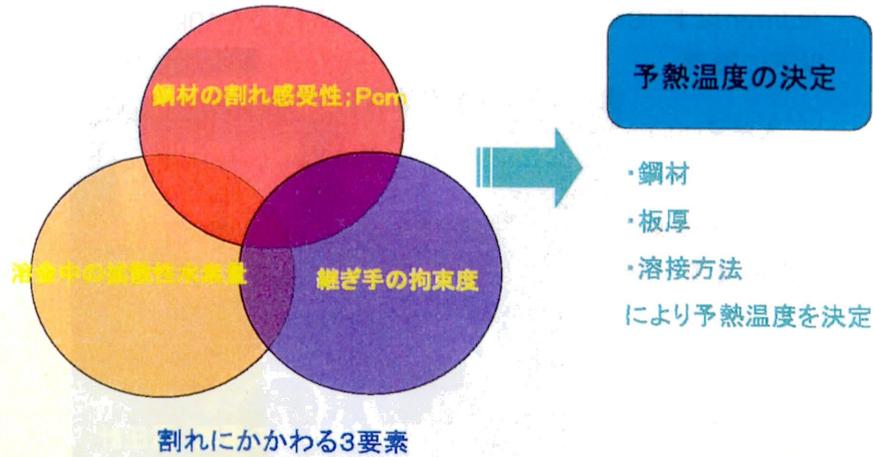


32

# 鋼橋における溶接施工

## 4) 予熱の必要性

目的 ; 低温割れの防止



33

# 鋼橋における溶接施工

## 4) 予熱

予熱温度の標準

鋼種	溶接方法	溶接温度(°C)			
		板厚区分(mm)			
		25以下	25をこえ 40以下	40をこえ 50以下	50をこえ 100以下
SM400	低水素系以外の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	50	—	—
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
SMA400W	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	50	80	80
SM490 SM490Y	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	80	80	100
SM520 SM570	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	50	50	80
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	80	80	100
SMA490W SMA570W	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	50	50	80
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	80	80	100

注: "予熱なし"については、気温(室内の場合は室温)が5°C以下の場合、20°C程度に加熱する。

34

## 鋼橋における溶接施工

### ■ 5) 入熱制限

- i) SM570, SM570W, SM520及びSMA490Wの場合, 入熱量を7kJ/mm以下. SM490, SM490Yの場合, 入熱量を10kJ/mm以下に管理.

$$\text{入熱量} Q(\text{kJ/mm}) = \frac{\text{電流}(\text{A}) \times \text{電圧}(\text{V}) \times 60}{\text{溶接速度}(\text{mm/min}) \times 1000}$$

- ii) i)の入熱をこえる場合には 施工試験を実施して溶接部に所定の品質が確保できることを確認する必要がある



35

## 鋼橋における溶接施工

### ■ 6) 溶接施工上の注意

- i) 溶接前の部材の清掃と乾燥.  
黒皮, さび, 塗料, 油, 水分等の除去.
- ii) エンドタブ  
溶接完了後ガス切断法により除去し, グラインダー仕上げ.
- iii) 部分溶込み開先溶接の施工  
棒継ぎ部のはつり処理あるいはクレータ処理の実施.



36

## 鋼橋における溶接施工

### 6) 溶接施工上の注意(つづき)

#### iv) すみ肉溶接及び部分溶込み開先溶接の施工

材片の隅角部で終わるすみ肉溶接は隅角部を廻して連続的に施工。継手の途中ではアークを切らないのがよい。



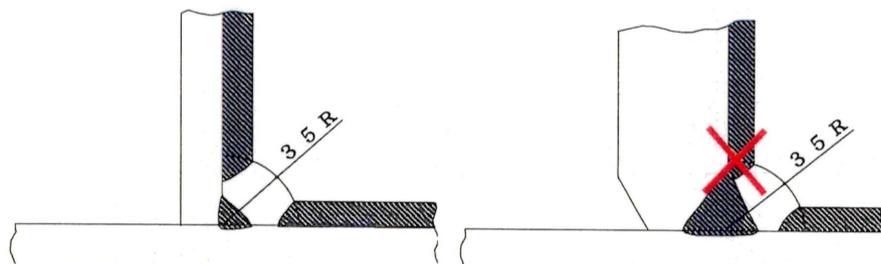
#### vi) 吊金具, 架設用治具等の取り付け及び除去

溶接は原則として工場内にて行い, その条件は工場溶接と同等以上とする。除去は母材に有害なきずを残さないように施工する。

37

## 鋼橋における溶接施工

### 溶接施工性にかかわるディテールの影響



※支点上のダイヤにおけるスカラップ形状と溶接性

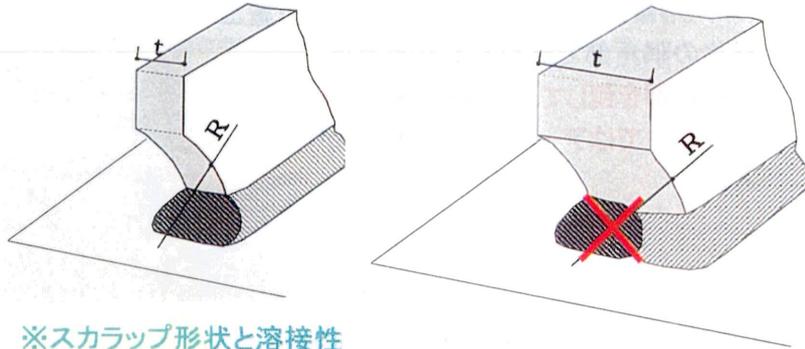
・ダイヤ側への開先設定によりすみ肉溶接が困難になる

→ 最適スカラップRの決定と標準化

38

## 鋼橋における溶接施工

- 溶接施工性にかかわるディテールの影響



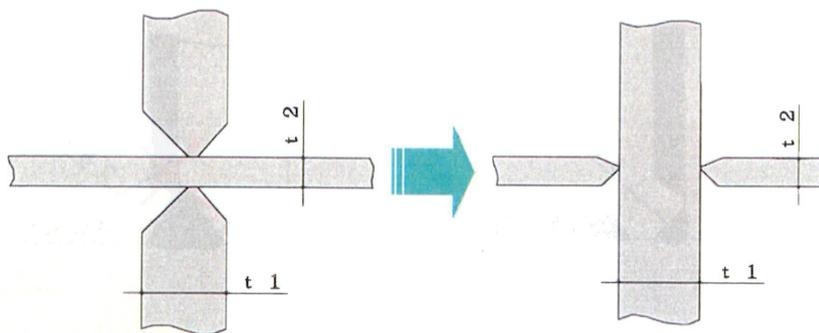
※スカラップ形状と溶接性

- $R$ の大きさによってすみ肉回し溶接の会合がうまくいかない
- 板厚に応じた最適スカラップ形状の決定、標準化が必要

39

## 鋼橋における溶接施工

- 溶接施工性にかかわるディテールの影響



※十字継ぎ手(orT字継ぎ手)における板厚と開先

- 溶接施工性、溶接欠陥、溶接歪み、ラメラティアの点からも板厚が厚い側( $t_1$ )を通した方がよい(製造側の要望)

40

## 鋼橋の自動化設備の紹介

### 門型多節アーク溶接ロボット



箱桁ウェブパネルの  
スティフナすみ肉溶接



41

## 鋼橋の自動化設備の紹介

### 縦リブ仮付け溶接装置

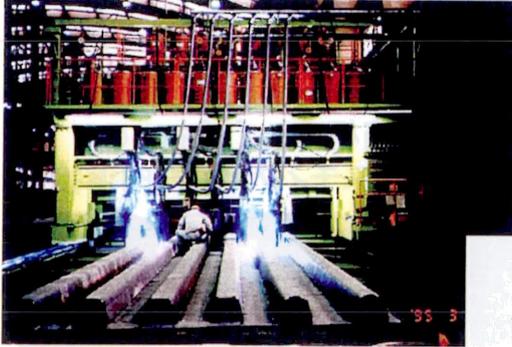


箱桁の縦リブ  
仮付け溶接

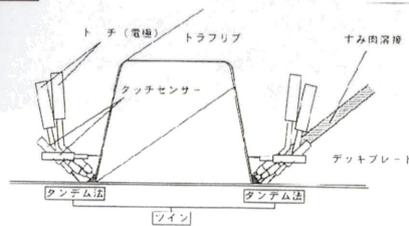
42

## 鋼橋の自動化設備の紹介

### 20電極CO<sub>2</sub>自動溶接装置



箱桁・鋼床版桁の  
縦リブ・トラフリブの  
すみ肉溶接

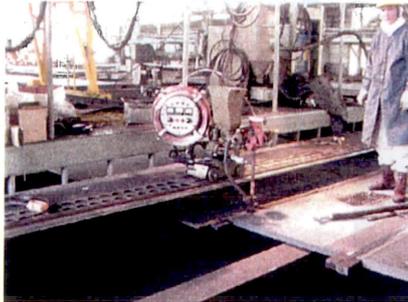


43

## 鋼橋の自動化設備の紹介

### サブマージーク自動溶接装置

フランジ・ウェブの板継ぎ溶接や首溶接



シングルSAW溶接装置  
(SW-41溶接装置)



タンデムSAW溶接装置  
(SW-51溶接装置)

44

## 鋼橋の自動化設備の紹介

### 簡易自動溶接装置



箱桁外面すみ肉溶接  
(SW-11溶接装置)

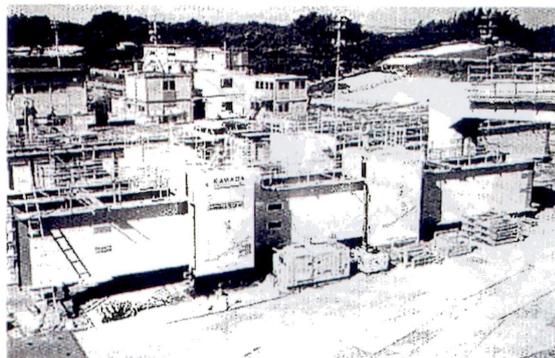
I桁ウェブのスティフナ  
のすみ肉溶接  
(キャリアボーイ溶接装置)



45

## 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

### 現場溶接の設備



鋼製溶接ケーシングの一例

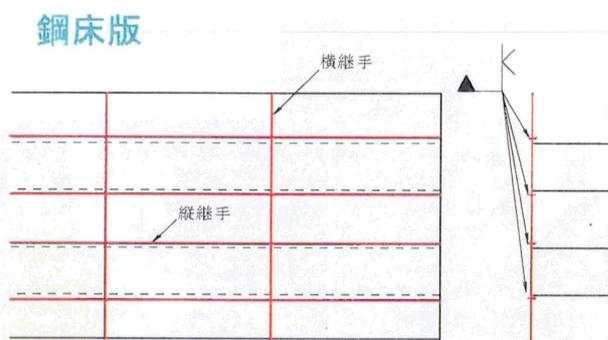
- ・環境(アーク光)
- ・天候(雨,風)
- ・安全性 等を考慮

鋼少数主桁橋の全断面現場溶接の施工

46

## 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

### 現場溶接の施工部位



47

## 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

### 簡易自動溶接装置

鋼床版桁のデッキプレート溶接(SW-41溶接装置)

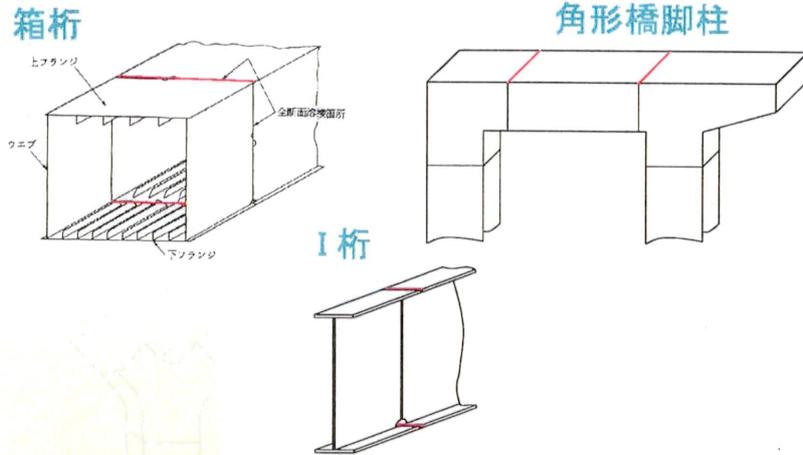


下向き溶接

48

# 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

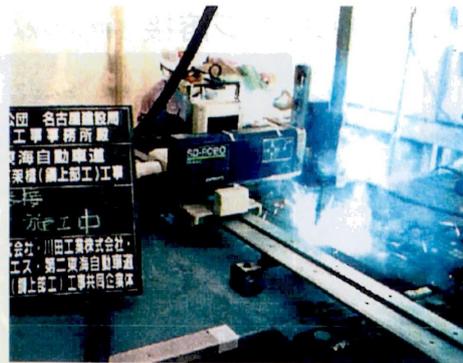
## 現場溶接の施工部位



# 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

## 簡易自動溶接装置

箱桁・I桁・橋脚のフランジ溶接 (SDロボ溶接装置)

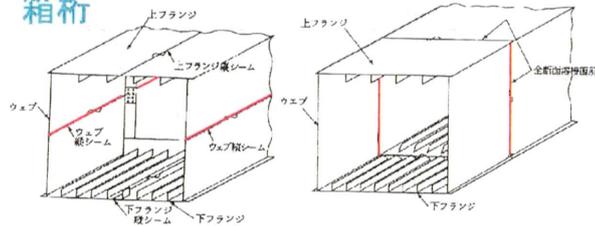


下向き溶接

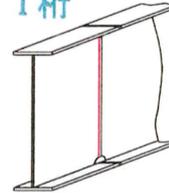
## 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

### 現場溶接の施工部位

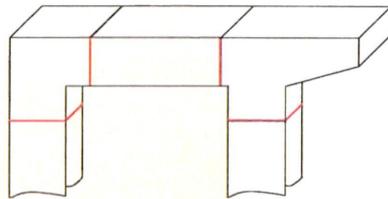
箱桁



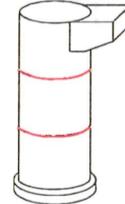
I桁



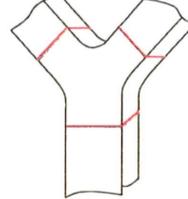
角形橋脚柱



円形橋脚柱



Y形橋脚柱

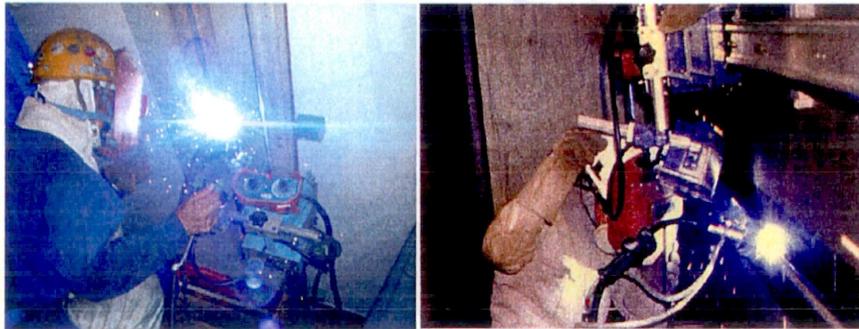


51

## 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

### 簡易自動溶接装置

箱桁・I桁・橋脚のウェブやフランジ溶接 (PICOMAX-2溶接装置)



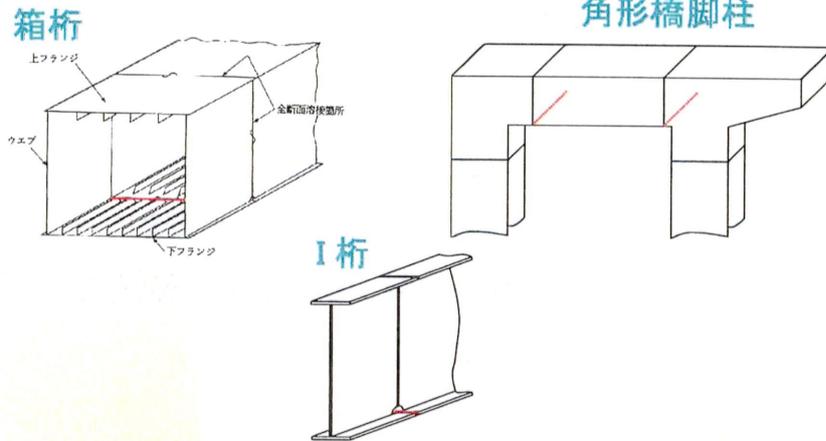
立向き溶接

横向き溶接

52

## 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

### 現場溶接の施工部位

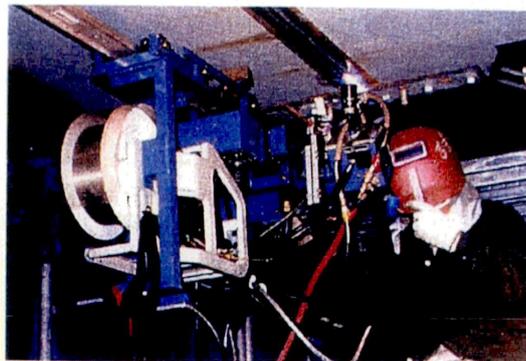


53

## 鋼橋の溶接設備 ～現場溶接～

### 簡易自動溶接装置

箱桁・I桁・橋脚の下フランジ溶接(OH-AUTO溶接装置)



上向き溶接

54

## 終わりに

- 今後、溶接に求められるものは何か
  - ・ 安定した品質の確保
    - ※ 溶接手法の改善（設備、技量）
  - ・ 要求される性能を満足させるための合理的な手法
    - ※ 組み合わせ溶接材料、溶接条件の最適化
  - ・ これらを確保するためのプロセス管理